Lane Medical Library

Aus der prothetischen Abteilung (Leitung: Prof. Dr. Fritsch) des zahnärztlichen Universitäts-Institut „Carolinum" zu Frankfurt a. M. (Direktor: Prof. Dr. O. Loos).

Abhängigkeit und Wirksamkeit von Klammerkräften

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der zahnärztlichen Doktorwürde einer hohen medizinischen Fakultät der Johann-Wolfgang-Goethe-Universität zu Frankfurt am Main.

Vorgelegt von

WALTER SPIESS

praktischer Zahnarzt aus Friedberg i. H.

November 1933.

Druckerei M. Jacobi, Frankfurt a. M.

Aus der prothetischen Abteilung (Leitung: Prof. Dr. Fritsch) des zahnärztlichen Universitäts-Institut „Carolinum" zu Frankfurt a. M.
(Direktor: Prof. Dr. O. Loos).

Abhängigkeit und Wirksamkeit von Klammerkräften

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der zahnärztlichen Doktorwürde einer hohen medizinischen Fakultät der Johann-Wolfgang-Goethe-Universität zu Frankfurt am Main.

Vorgelegt von

WALTER SPIESS

praktischer Zahnarzt aus Friedberg i. H.

November 1933.

Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Fakultät
der Johann-Wolfgang-Goethe-Universität
zu Frankfurt a. M.

Referent: Prof. Dr. Fritsch
Dekan: Prof. Dr. Holfelder

Meinen Eltern

in Dankbarkeit gewidmet.

Abhängigkeit und Wirksamkeit von Klammerkräften.

Allgemeine Aufgaben und Wirkungen der Klammer.

Das am häufigsten angewandte Mittel, einen Zahnersatz in einem Lückengebiß zu befestigen, ist die Klammer. Trotzdem bestehen in Fach- wie in Laienkreisen wegen der häufig beobachteten nachteiligen Einflüsse auf die restlichen natürlichen Zähne erhebliche Bedenken gegen ihre Verwendung. Diese haben dazu geführt, daß entweder vollkommen auf sie verzichtet wurde, oder daß man die Einwirkung auf die Hartsubstanz der umklammerten Zähne durch Ueberkronen derselben zu vermeiden suchte. In erster Linie soll dadurch einer Caries vorgebeugt werden, die sich durch Zersetzung von Speiseresten zwischen Klammer und Zahn entwickeln kann. Bei den einfachen Formen des herausnehmbaren Ersatzes, dem nur schleimhautgetragenen ungestützten Plattenersatz, wird außerdem durch das Scheuern der Klammern in den meisten Fällen der Schmelz der Zahnkronen so stark abradiert, daß dadurch das Dentin seinen natürlichen Schutz gegen chemische und mechanische Einflüsse einbüßt.

Oft beobachtet man auch, daß gesunde Zähne, die Klammern tragen, schon nach kurzer Zeit sich zu lockern beginnen und über kurz oder lang ausfallen. Diese Erscheinung ist aus den Belastungsänderungen zu erklären, die ein solcher Zahn durch die Umklammerung erleidet. Zu dem Kaudruck, den dieser Zahn wie bisher durch seine Gegenbeißer auszuhalten hat, tritt nämlich noch die Druckbeanspruchung, welche zwar auf die Prothese ausgeübt, aber über die Klammer auf ihn übertragen wird. Während der mittelbar aufgenommene Kaudruck vorwiegend senkrecht in der Längsachsenrichtung auf den Zahn gerichtet ist, wirken von der Prothese her hauptsächlich horizontale Kräfte auf ihn ein.

Außer denjenigen Kräften, welche auf die Klammer direkt oder unter Vermittlung des Zahnersatzes durch den Kaudruck ausgeübt werden, kommen nach der Einfügung der Klammer aber auch noch Zugkräfte zur Auswirkung, die beim Loslösen des Zahnersatzes von der Schleimhaut auftreten. Solche entstehen erstens durch die Einwirkung der Mundmuskulatur auf die Prothesenränder, zweitens durch das Anhaften klebriger Speisen und drittens im Oberkiefer durch das Eigengewicht der Prothese. Diesen Zugkräften Widerstand zu leisten, ist die Hauptaufgabe der Klammerbefestigung.

Dagegen kann es nicht Aufgabe der Klammer sein, den erheblichen Hebelkräften Widerstand zu leisten, die durch das Kippen des Zahnersatzes infolge statisch fehlerhafter Anordnung der künstlichen Zähne des Ersatzes auf der anderen Prothesenseite zustandekommen. Außer Betracht sollen auch diejenigen Kippkräfte bleiben, welche bei starker Nachgiebigkeit der Schleimhaut oder Resorption des Alveolarfortsatzes durch das Absinken der Prothese entstehen und durch die Klammer auf den Zahn übertragen werden.

Untersuchungsziel und -weg.

Vorliegende Arbeit soll sich nicht so sehr mit der durch die Klammer bewirkten indirekten Kraftübertragung befassen, sondern hauptsächlich diejenigen direkten Kraftäußerungen untersuchen, die bei der Umklammerung eines Zahnes auftreten.

Diese sind naturgemäß nicht ganz unabhängig von den übertragenen Beanspruchungen, so daß letztere wenigstens teilweise gestreift werden müssen. Auch spielt die Art des Klammermaterials hinsichtlich seiner mechanischen Eigenschaften, besonders der Elastizitätskompenenten, eine gewisse Rolle. Jedoch soll dieser Einfluß durch Beschränkung der Untersuchungen auf eine Goldlegierung ausgeschaltet werden. Dagegen wird es notwendig sein, sich eingehend mit der anatomischen Form der Klammerzähne sowie der Dimensionen und der Gestalt der Klammern zu befassen, wenn wir die ausgeübten Kräfte beurteilen wollen.

Um von den Zufälligkeiten der anatomischen Form der natürlichen Zähne unabhängig zu sein, ist es angezeigt, die Versuche zuerst an gleichmäßig gestalteten Metallstempeln durchzuführen und die Ergebnisse an diesen Modellen dann in Vergleich zu den Verhältnissen an natürlichen Zähnen zu setzen.

Zugkräfte.

Die Zugkräfte, die durch das Eigengewicht, die Mundmuskulatur und die Klebefähigkeit, von Speisen hervorgerufen werden, sind untereinander in ihrem Ausmaß sehr verschieden. Im Ganzen sind sie sehr viel geringer als die durch den Kaudruck ausgeübten Kräfte. Den großen Unterschied zwischen Druck- und Zugkräften kann man daran ermessen, daß erstere in Kilogramm, letztere in Gramm ausgedrückt werden. Das Eigengewicht der Prothese ist die geringste und am einfachsten zu bestimmende Größe, weil sie immer die gleiche bleibt. Sie beträgt im Durchschnitt bei einer oberen Prothese 30 Gramm. Die von der Mundmuskulatur ausgelösten Kräfte hingegen sind wechselnd und außerdem schwer zu bestimmen. Durch

entsprechende Aussparung an den Randpartien der Prothese sollte eigentlich ein Muskeldruck nicht ausgeübt werden können. Trotzdem wird häufig bei stark geschwundenem Alveolarfortsatz oder stark ausgeprägten Bändern während des Sprechens oder Essens ein Losheben von der Unterlage eintreten. Auch die Einwirkung der Zungen-, Lippen- und Wangenmuskulatur auf die Seitenflächen der Prothese kann ähnliche Wirkungen zeitigen. Leichter zu erfassen und wenigstens in ihrem Maximalwert zu bestimmen ist dagegen die Zugkraft, welche durch klebrige Speisen ausgeübt werden kann. Nach dem Vorgang von Balters wurden als klebrige Speisen verschiedene Bonbonsarten und Kaugummi untersucht. Zu diesem Zwecke wurde ein extrahierter Molar so an einem Tisch befestigt, daß seine Kaufläche senkrecht nach unten zeigte. Der Antagonist wurde wurzelwärts mit einem Häkchen versehen, an dem eine Gewichtsschale hing. Zwischen dem fixierten oberen und dem losen unteren Zahn wurde dann das gut durchgekaute Sahnebonbons bzw. der Kaugummi gepreßt und dann die Schale mit Gewichten belastet. Diese Belastung bis zur Lösung der Verbindung betrug 80—260 Gramm. Es ist also festzustellen, daß die reine Zugbeanspruchung, welche von einer Prothese auf eine Klammer ausgeübt wird, stark schwankt und im Höchstfalle 300 Gramm betragen kann.

Zylindrische und bauchige Form von Klammerzähnen.

Betrachten wir nunmehr den Einfluß, den die Gestalt der Zähne bei der Umklammerung spielt. Hier ist ein Wandel der Auffassungen im Laufe der letzten Jahre eingetreten.

In früheren Zeiten war man der Ansicht, daß die zylindrische Form eines Zahnes günstiger für eine Klammer sei, als die bauchige. Diese Meinung hatte zu ihrer Zeit eine gewisse Berechtigung. Sie war dadurch bedingt, daß man noch nicht die hochelastischen Klammergoldlegierungen besaß, sondern in der Regel nur Bandklammern aus 18 Karat Goldblech herstellte, den man durch Hämmern nur eine geringe Elastizität geben konnte. Bei stärker unter sich gehenden Stellen konnten diese Klammern den Zähnen nicht anliegen. Vielfach wurde deshalb durch Beschleifen der Zähne und Aufsetzen von zylindrisch gehaltenen Kronen eine für die damaligen Verhältnisse günstigere Form hergestellt. Man wollte dadurch auch bei dem damaligen nicht vermeidbaren allmählichen Absinken der Prothese auch in ihrer neuen Lage noch die Berührung der Klammern mit dem Zahn aufrecht erhalten.

Um nun die sehr verschiedenen Verhältnisse der zylinderischen und bauchigen Zahnformen in übersichtlicher Weise vereinfacht nachzuahmen, wurden unsere Untersuchungen an einem zylindrischen und einem tonnenförmigen Stumpf aus Stahl durchgeführt.

Beide haben einen Durchmesser von 8 mm und eine Höhe von 7 mm. Der kleinste Durchmesser des tonnenförmigen Stumpfes am oberen und unteren Ende ist 7 mm.

Rumpel'sche Deckelklammer und Auflageklammer.

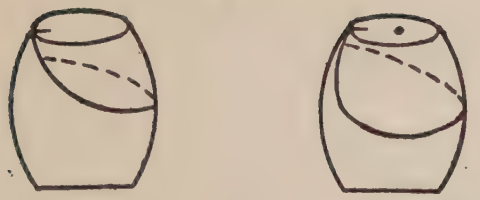
In Deutschland hing man der parallelwandigen Umrißgestaltung der Kronen selbst nach Einführung der gestützten Prothese noch an. Ein typischer Fall dieser fortgeschrittenen Klammerformen für einen zylindrischen Stumpf ist die Rumpel'sche Deckelklammer. Sie setzt voraus, daß die Kauflächen des Zahnes oder Wurzelstumpfes plan und die Seitenwände zylindrisch beschliffen werden. Die verbleibende Zahnkrone wird mit einer parallelwandigen Kappe versehen. Um diese Kappe biegt man eine gewöhnliche Bandklammer bzw. bei kurzem Stumpf nach den Angaben von Fritsch eine am Kappenende liegende Drahtklammer. An der wird ein Deckel in der Gegend des Klammerkörpers so aufgelötet, daß die Klammerarme frei federn können. Um eine ausreichende Federung der Klammerarme zu erhalten, soll die Lötverbindung von Klammer und Deckel nicht mehr als 3—4 mm betragen. Damit das Lot nicht weiterschießt, ist es notwendig, die Klammerarme mit Graphit oder Schlemmkreide zu isolieren.

In Amerika dagegen gelangte man ungefähr in der gleichen Zeit zu der Auflageklammer, die ebenfalls den größten Teil des Kaudruckes auf die Zähne des Restgebisses übertrug. Diese Art Klammer wurde erst möglich, als es gelungen war, hochelastische Klammermaterialien zum Teil vergütbaren Charakters herzustellen. Bei diesen Klammern stellte sich bald heraus, daß gerade stark gewölbte Zähne die besten Ergebnisse zeitigten.

Bei der Herstellung der Auflageklammer wird zunächst eine Drahtklammer so gelegt, daß der Klammerkörper möglichst hoch an die Kaufläche herangeht. An dieser höchsten Stelle wird dann ein Stückchen Draht von 2—3 mm Länge angelötet. Dieses soll der Kaufläche horizontal aufliegen und wird deshalb Auflage genannt. (Damit keine Störung der Artikulation entsteht, ist es meist notwendig, in die Kaufläche des Zahnes eine Vertiefung einzuschleifen, die die Auflage aufnimmt.)

Bei den Auflageklammern sind Unterschiede in der Führung der Klammerarme möglich. Bei der einen Ausführung ist die Verbindung zwischen Klammerkörper und Klammerende ziemlich gradlinig gestaltet (Figur 1a). Bei einer anderen Ausführung verlaufen die Klammerarme vom Klammerkörper aus ziemlich senkrecht und nach dem Ende zu mehr waagrecht (Figur 1b). Diese Unterschiede beeinflussen einerseits die Länge des Klammerarmes und andererseits die senkrechte Entfernung der Endpunkte der Klammerarme vom größten Durchmesser des Zahnes.

Fig. 1



a) b)

Rumpel'sche Deckelklammern und Auflageklammern wurden als Versuchsmaterial hauptsächlich deshalb gewählt, weil dieselben auch ohne Hinzunahme des Prothesenkörpers einen einwandfreien Sitz am Zahn ermöglichen.

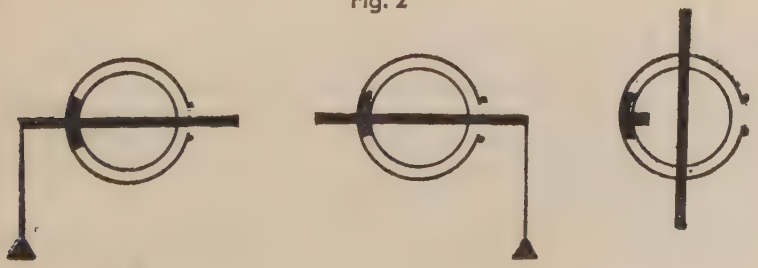
Verwendetes Material.

Als Versuchsmaterial wurde die bekannte Klammergoldlegierung „Orthallor" von der Deutschen Gold- und Silberscheideanstalt in Blech sowie in Drahtform in verschiedenen Stärken verwendet. Die Untersuchungen mit Blechklammern wurden mit 0,4 mm und 0,5 mm starkem Blech ausgeführt. Die Drahtklammern wurden aus halbovalem Draht von 1,5 mm und solchem von 1,75 mm Stärke hergestellt. Nach dem Lötprozeß wurde jede Klammer vor den einzelnen Untersuchungen vergütet, um ihr die erforderliche Elastizität wiederzugeben.

Versuchsanordnung.

Die Versuchsanordnung war folgende: Nachdem die Deckel- und Auflageklammern hergestellt waren, wurden auf den Deckel bzw. die Auflage ein etwa 2 cm langes Drahtstück als Klammerschwanz aufgelötet. Dieser Steg verlief entweder in der Richtung Klammerkörper-Klammeröffnung (Fig. 2d und i) oder senkrecht dazu (Fig. 2r).

Fig. 2



d i r

An die beiden Klammerarme wurden dann möglichst am äußersten Ende je ein 0,6 mm starker Draht als Zeiger befestigt, der am Ende so rechtwinklig abgebogen wurde, daß beide Drahtenden sich gerade berührten. Die Entfernung von der Lötstelle bis zur Abbiegung beträgt bei allen Versuchen 6 cm, so daß die Aufweitungen der Klammerarme in sechsfachem Maßstab angezeigt werden. Da es sich herausstellte, daß es nicht möglich war, die beiden Klammerarme gleich groß zu halten und ihnen gleiche Form zu geben, war es erforderlich, um die Aufweitung der einzelnen Klammerarme festzustellen, einen weiteren dünnen Draht an dem 2 cm langen auf die Auflage oder den Deckel aufgelöteten Draht anzubringen, um so den Ausgangspunkt der beiden Zeiger festzuhalten. Mit dieser Versuchsanordnung würde bei allen übrigen Versuchen die Aufweitung bei den verschiedenen Belastungsproben festgestellt.

Die Belastungsversuche der einzelnen Klammern wurden auf folgende Weise ausgeführt:

1. Um auf die Klammer einen senkrechten Zug zur Kaufläche des Zahnes ausüben zu können, wurde auf die Auflage eine kleine Oese gelötet. Nachdem der Stahlstumpf mit seiner Auflagefläche nach unten gekehrt in einer halben Vorrichtung eingespannt war, wurde die Klammer aufgesetzt und eine Gewichtsschale in die Oese eingehängt. Durch allmählich steigernde Belastung wurde die Klammer dann unter Beobachtung der auftretenden Erscheinungen zum Loslösen vom Stumpf gebracht.

2. Um die Klammer durch Zug und Druck vom Klammerschwanz her zu belasten, wurde über den in verschiedener Achse zur Richtung Klammerkörper-Klammeröffnung aufgelöteten Steg ein Röhrchen mit Zentimeter-Einteilung geschoben. In 6 cm Entfernung wurde an letzterem dann die Gewichtsschale befestigt. Bei diesen Versuchen wurden die beiden verschiedenen Klammerstümpfe in ein Stück Eisen eingespannt, das auf beiden Seiten stark ausgefräst war, um das Anbringen der Gewichtsschale zu ermöglichen. Die ganze Apparatur wurde dann mittels einer Tischklammer am Tische befestigt.

Vertikaler Zug und Vorspannung.

Da genügende Untersuchungen über die mechanischen Eigenschaften der Klammermaterialien vorliegen (Nowack, Groß-Terjung u. a.), soll der Hauptwert der Beobachtungen auf die praktisch vorkommenden Beanspruchungen gelegt werden. Hierbei ist zwischen folgenden Möglichkeiten zu unterscheiden:

1. Die Klammer liegt mit oder ohne Druck dem Zahn an.
2. Die Berührung erfolgt am oder unterhalb des Aequators.

Den Fall, daß die Klammer ohne Druck am Aequator anliegt, können wir ausschalten, weil sie dann ihre Aufgabe, Zugkräften Widerstand zu leisten, nicht erfüllen kann. Dagegen ist als Vorversuch die Frage zu klären, wie muß eine Klammer mit Druck dem Aequator eines Zahnes anliegen, um den oben erwähnten Zugkräften bis zu max. 300 g standzuhalten. Zu diesem Zwecke wurden kreisrunde Klammern mit Auflagen um den zylindrischen und den tonnenförmigen Stumpf so gelegt, daß sie nur den Aequator umfaßten. Durch mehrmaliges Nachbiegen wurden die 5 mm betragende Oeffnung der Klammer um 0,5—0,1 mm verengert und der Einfluß dieser Veränderungen auf die Belastungsfähigkeit gemessen.

Tabelle 1.

Stumpf:	Drahtstärke:	Verengerung:	Belastung:
tonnenförmig	1,5 mm	0,5 mm	310 g
„	„	0,4 „	270 „
„	„	0,3 „	180 „
„	„	0,1 „	100 „
zylindrisch	„	0,5 „	300 „
„	„	0,4 „	260 „
„	„	0,3 „	150 „
„	„	0,1 „	100 „
tonnenförmig	1,75 mm	0,5 „	440 „
„	„	0,4 „	360 „
„	„	0,3 „	190 „
„	„	0,1 „	170 „
zylindrisch	„	0,5 „	390 „
„	„	0,4 „	340 „
„	„	0,3 „	190 „
„	„	0,1 „	160 „

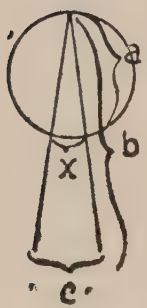
Das heißt also, man muß eine am Aequator anliegende Klammer von 1,5 mm Draht um so viel verengen, oder spannen, daß die Klammerenden sich schon beim Aufsetzen um 0,5 mm aufweiten, wenn einer Zugkraft von ungefähr 310 Gramm Widerstand geleistet werden soll. Wie zu erwarten, sind bei dieser Lage und Formgebung die Unterschiede zwischen zylindrischem und tonnenförmigem Stumpf nicht groß. Sie wären damit zu erklären, daß am tonnenförmigen Stumpf die Klammerarme vielleicht eine Kleinigkeit unterhalb des dicksten Stumpfdurchmessers lagen.

Verschiedene Kippbeanspruchungen.

In der ersten Versuchsreihe sollte ermittelt werden, um wieviel sich eine Klammer bei verschieden gerichteten Belastungen aufweitet, bevor sie abkippt. Diesem Zweck diente das in verschiedener Achse zur Richtung Klammerkörper-Klammeröffnung aufgelötete 2 cm-Drahtstück. Ueber dessen Enden wurde ein Metallröhrchen gezogen. Die Belastungsversuche wurden immer in einem Abstand von 6 cm von der Klammer ausgeführt. Nicht bei allen Klammerarten konnte man vor der Kippung eine Aufweitung feststellen.

Bei den Rumpel'schen Deckelklammern, die aus Draht angefertigt waren, war eine solche nicht festzustellen.

Belastet man eine Rumpel'sche Deckelklammer aus 0,4 mm Blech auf der Seite des Klammerkörpers (Fig. 2 d), so ergab sich eine Belastungsmöglichkeit vor dem Abkippen von 150 g in 6 cm Abstand, also ein Dreh- oder Kippmoment von 900 cm/g. Dabei weitete sich die Oeffnung zwischen den Zeigern um 12 mm auf. Um nun die wirkliche Aufweitung der Klammerarme zu ermitteln, ist folgende Umrechnung nötig:



$$x = \frac{a}{c} \quad b$$

$$x = \frac{a \times c}{b}$$

z. B. $x = \frac{8 \times 12}{68} = 1{,}4$ c

a = ungefährer Durchmesser des Stumpfes 8 mm.

b = Länge des dünn. Drähtchens + Durchmesseer = 68 mm.

c = Ermittelte Aufweitung der Drähtchen.

x = Gesuchte Aufweitung der Klammer.

In unserem Falle betrug also die Klammeraufweitung 1,4 mm.

Bei den weiteren Angaben werden die Aufweitungswerte gleich auf die Klammerenden reduziert angegeben.

Bei der Belastung auf der anderen Seite derselben Klammer, also der Seite der Klammeröffnung betrug das größtmögliche Moment 960 cm/g mit einer Aufweitung der Klammerarme von 1,7 mm. Hieraus ist ersichtlich, daß erstens die Beanspruchung bei der Versuchsanordnung (Fig. 2 i) ein größeres sein kann und zweitens die Aufweitung der Klammerarme bei Fig. 2 d wesentlich geringer sind als bei Fig. 2 i.

Führt man dieselben Versuche mit 0,5 mm Blech aus, so ergeben sich folgende Resultate:

Beim Versuch d betrug das Moment 1140 cm/g mit einer Aufweitung von 1 mm. Bei i 1500 cm/g mit einer Aufweitung von 1,3 mm.

In der nächsten Untersuchung wurde dann die Klammer in einer anderen Richtung belastet. Zu diesem Zwecke war der Klammerschwanz senkrecht zur Richtung Klammeröffnung-Klammerkörper gelötet. Hierbei ergaben sich bei 0,4 mm Blech ein Moment von 3600 cm/g, bei einer Aufweitung von 0,7 mm. Bei 0,4 mm trat ein Moment von 4680 cm/g auf, dem eine Aufweitung von 0,6 mm entsprach.

Tabelle 2 (Rumpel'sche Deckelklammern).

Belastungs-Art	Blechstärke	Drehmoment	Aufweitung
Fig. 2 d	0,4 mm	900 g	1,4 mm
„	0,5 „	1140 „	1,0 „
Fig. i	0,4 „	960 „	1,4 „
„	0,5 „	1500 „	1,3 „
Fig. r	0,4 „	3600 „	0,7 „
„	0,5 „	4680 „	0,6 „

Aus dieser Versuchsreihe ist ersichtlich, daß bei verschiedenem Angriffspunkt der Belastung wie bei verschiedener Drahtstärke die Ergebnisse stark voneinander abweichen. Bei stärkerem Blech ergeben sich größere Belastungsmöglichkeiten, jedoch eine geringere Aufweitung. Bei d war die Belastungsmöglichkeit am geringsten, bei i etwas höher, bei r noch wesentlich höher. Es soll versucht werden, diese Verschiedenheit der Ergebnisse bei den einzelnen Belastungsarten zu erklären. Der Drehpunkt lag bei dem ersten Versuch am Klammerkörper und die Klammerarme fanden beim Abkippen einen geringeren Widerstand an den abgerundeten Kanten des Stumpfes. Im zweiten Falle liegt der Drehpunkt am Ende des Deckels und die Klammerarme finden beim Senken der Klammer auf dieser Seite bis zuletzt Widerstand an der parallelen Wand des Stumpfes. Die hohen Werte von r lassen sich dadurch erklären, daß bei dieser Belastung die Klammerarme jetzt mit anderen Punkten, die senkrecht unter dem Quersteg liegen, dem Stumpf anliegen. Diese liegen dem Klammerkörper näher, der wirksame Hebelarm ist dadurch kürzer und die Belastungsmöglichkeit eine größere.

Als zweite Versuchsreihe folgen nun die Belastungsversuche der verschiedenen Auflageklammern. Die Versuchsanordnung ist die gleiche wie bei den Rumpel'schen Deckelklammern. Untersucht wur-

den eine Form um einen zylindrischen und zwei Formen (Fig. 1a und b, wie oben beschrieben) um einen tonnenförmigen Stumpf. Die ermittelten Werte sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Tabelle 3 (Auflageklammern).

Stumpf	Klammer-form	Drahtstärke	Belastungs-Art	Dreh-moment	Aufweitung
zylindr.	—	1,5 mm	Fig. 2D	420 cm/g	0,3 mm
„	—	1,5 „	„ J	480 „	0,5 „
„	—	1,75 „	„ D	420 „	0,5 „
„	—	1,75 „	„ J	540 „	0,4 „
tonnenf.	Fig. 1a	1,5 „	„ D	120 „	0,0 „
„	„	1,5 „	„ J	250 „	0,0 „
„	„	1,75 „	„ D	180 „	0,0 „
„	„	1,5 „	„ J	300 „	0,0 „
„	Fig. 1b	1,5 „	„ D	250 „	0,6
„	„	1,5 „	„ J	600 „	0,9
„	„	1,75 „	„ D	960 „	0,9
„	„	1.75 „	„ J	1260 „	1,3

Aus dieser letzten Versuchsreihe ist folgendes ersichtlich:

1. Die Drehmomente auf Aufweitungen dieser Klammerarten bis zum Abkippen liegen im allgemeinen bedeutend niedriger als bei den Rumpel'schen Deckelklammern.

2. Die Form a mit diagonal verlaufenden Klammerarmen und am Aequator liegenden Klammerenden können nur wenig beansprucht werden, sondern löst sich leicht, ohne vorherige Aufweitung zu zeigen.

Aufweitung der Klammern beim Aufsetzen.

In der dritten Versuchsreihe sollen nun die Erscheinungen besprochen werden, welche beim Aufsetzen der Klammer eintreten. Zu diesem Zweck wurden Klammern gefühlsmäßig so gebogen, daß sie wie eine Klammer im Mund auf den Stempel gebracht werden konnten und in derselben Weise festsaßen. Die ersten Versuche wurden mit einer Rumpel'schen Deckelklammer von einer Blechstärke 0,4 mm ausgeführt. Die Zeiger wurden so aneinander gebogen, daß sie sich bei der Ruhelage der Klammer passiv berührten. Setzte man nun die Klammer auf den zylindrischen Stumpf auf, so stellte

man eine Aufweitung von 1,2 mm fest. Beobachtet man nun die Aufweitung eines Klammerarmes, so ermittelte man eine solche von 0,9 mm. Dagegen betrug die des anderen 0,3 mm. Dies ist ein Beweis dafür, daß die Klammerarme nicht gleich waren, obwohl versucht wurde, ihnen gleiche Form und Aktivierung zu geben. In zwei Fällen mußte ich sogar feststellen, daß der eine Klammerarm überhaupt keine Aufweitung zeigte und dadurch nur als Widerstandsarm in Frage kam. Weiter sollte nun festgestellt werden, welche Kraft ein so aufgeweiteter Klammerarm in radikaler Richtung entwickelte. Zu diesem Zweck wurde die Klammer mit dem Klammergerüst in ein Feilklöbchen eingespannt und am Tisch befestigt. Die Gewichtsschale wird am äußersten Ende des Klammerarmes an einem Häkchen angebracht. Will man nun dieselbe Aufweitung, von 0,7 mm, die beim Aufsetzen ermittelt wurde, erreichen, so muß man eine Belastung von 550 g ausüben. Um die Aufweitung des zweiten Klammerarmes von 0,3 mm zu reproduzieren, müßte ein Gewicht von 170 g angehängt werden. Das bedeutet: der eine Arm einer Rumpel'schen Deckelklammer von 0,4 mm Stärke übt auf den Klammerstumpf eine Kraft von 550 g, der andere eine solche von 170 g aus.

Dieselben Untersuchungen wurden auch mit einer Rumpel'schen Deckelklammer von 0,5 mm Blech angestellt. Hierbei stellten sich, wie zu erwarten war, andere Versuchswerte heraus, wie bei einer Blechstärke von 0,4 mm. Durch die gefühlsmäßige Einstellung betrug die Gesamtaufweitung beim Aufsetzen nur 0,6 mm, die Aufweitung der einzelnen Arme 0,4 mm bzw. 0,2 mm. Um nun diese kleineren Aufweitungen zu rekonstruieren, waren wegen des stärkeren Materials größere Kräfte nötig, als bei dem vorigen Versuch, nämlich solche von 700 g bzw. 400 g. Mit Rumpel'schen Drahtklammern wurden dieselben Versuche angestellt. Verwendet wurden 1,75 mm und 1,5 mm starker Draht. Die ermittelten Werte gehen aus Tab. 4 hervor.

Tabelle 4 (Rumpel'sche Klammern).

Klammerart	Stärke	Aufweitung eines Armes	Belastung	Aufweitung des 2. Armes	Belastung
Blechkl.	4 x 0,4 mm	0,9 mm	550 g	0.3 mm	170 g
„	4 x 0,5 „	0,4 „	700 „	0.2 „	400 „
Drahtkl.	1,5 x 1,0 „	0,5 „	750 „	0·2 „	370 „
„	1,75 x 1,2 „	0,5 „	850 „	0.1 „	110 „

Aus vorstehender Tabelle ist weiterhin ersichtlich, daß die in der zahnärztlichen Prothetik verwendeten Drahtklammerstärken

eine größere horizontale Kraftwirkung ausüben als die Blechklammern in den üblichen Drahtstärken.

Weiter wurden dann dieselben Versuche an Auflageklammern aus Draht ausgeführt. Die Versuchsergebnisse waren denen der Rumpel'schen Deckelklammern ähnlich und gehen aus der Tabelle 5 hervor:

Tabelle 5.

Stumpf	Klammerform	Drahtstärke	Aufweitung des 1. Kl.-Armes	Belastung des Armes	Aufweitung des 2. Armes	Belastung des 2. Armes
tonnenf.	Fig. 1 a	1,5 mm	0,3 mm	450 g	0,3 mm	480 g
„	„ 1 a	1,75 „	0,3 „	500 „	0,25 „	400 „
„	„ 1 b	1,5 „	0,4 „	600 „	0,1 „	380 „
„	„ 1 b	1,75 „	0,3 „	580 „	0,35 „	600 „
zylindr.	—	1,5 „	0,3 „	480 „	0,25 „	400 „
„	—	1,75 „	0,4 „	600 „	0,3 „	500 „

Zieht man nun einen Vergleich zwischen den verschiedenen Klammerarten, so stellt man ohne weiteres fest, daß die Aufweitung beim Aufsetzen auf die Stümpfe ungefähr gleich ist. Sie liegt zwischen 0,5 und 1,0 mm.

Was nun die Belastung angeht, die erforderlich ist, um die Aufweitung zu rekonstruieren, so kann man einen ganz merklichen Unterschied feststellen. Bei den Versuchen mit Rumpel'schen Deckelklammern liegen die Werte im Durchschnitt 150—200 g höher als bei Auflageklammern, m. a. W. gesagt, ist die horizontale Haltekraft von Rumpel'schen Deckelklammern eine größere als die einer gewöhnlichen Auflageklammer.

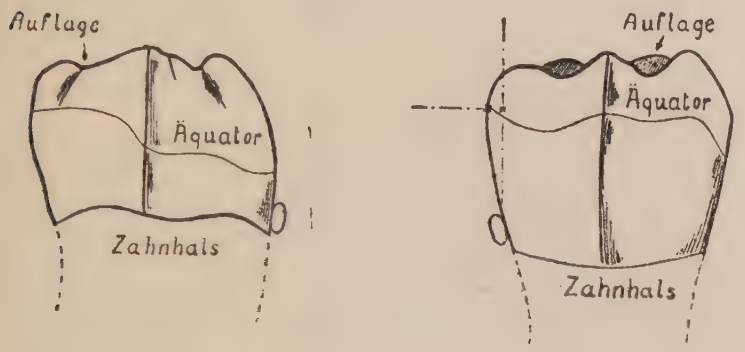
Anatomische Form.

Um die Versuchsergebnisse von den Stahlstümpfen auf natürliche Zähne übertragen zu können, war es nötig, einige anatomische Formen auf ihre Krümmungsverhältnisse zu untersuchen. Es wurden hierzu Umrißbilder von extrahierten Zähnen in fünffacher Vergrößerung mit Hilfe eines photographischen Vergrößerungsapparates hergestellt. Ein typischer Vertreter, ein unterer Molar, wurde für die späteren Erörterungen herausgegriffen. Zunächst wurde der zur Kronenachse senkrechte Aequator der Zähne mit Hilfe eines Parallelographen festgestellt und rings um den Zahn eingezeichnet. Auch die Schmelzgrenze am Zahnhals wurde aufgezeichnet. Die so vorbereiteten Zähne wurden dann in verschiedenen

Ansichten von medial, distal, bukkal, lingual bzw. palatinal und von den Diagonalrichtungen aus vergrößert und mit den markierten Linien aufgezeichnet (siehe Abb.). Es sollte nun mit Hilfe dieser

Unterer Molar.

Mesio buccal nach distolingual. **Mesiolingual nach distobuccal.**



Zeichnung ermittelt werden, ob allein die Aufweitung, die die Klammer überwinden muß, wenn man die Klammerarme in den Gegend des Zahnhalses passiv anliegen läßt, genügt, den maximalen Zugbeanspruchungen standzuhalten. Da die Klammerenden von ganz besonderer Bedeutung sind, wurden unsere Ueberlegenheiten an denjenigen Stellen des Zahnes ausgeführt, an denen die Klammerenden zu liegen kamen, wenn man die Auflage nach mesial anbrachte. Es waren dies also die disto-bukalen und die disto-lingualen bzw. disto-palatinalen Kanten. Man legte den Querschnitt des Klammerdrahtes ebenfalls in fünffacher Vergrößerung in der Nähe des Zahnhalses an und ermittelte so die Berührungsstelle der Klammer mit dem Zahn. An dieser Stelle wurde dann die Parallele zur Kronenachse gezogen. Der senkrechte Abstand dieser Parallelen zum Aequator müßte, um der Zugbeanspruchung zu widerstehen, nach den früher ausgeführten Versuchen 0,5 mm betragen. In unserem Falle der Ansicht von nesio-bukal nach disto-lingual des unteren Molaren betragen die reduzierten Abstände nach bukal hin 0,2 mm, bei der Ansicht von mesio-lingual nach disto-bukal auf der linken Seite 0,8 mm. Bei den oberen Prämolaren waren die entsprechenden Abstände noch geringer. Die Abstände der anderen Stellen gingen aus den verschiedenen Ansichtsbildern hervor, lieferten aber im allgemeinen keine stärker unter sich gehenden Stellen als die disto-linguale Kante.

Die Schlußfolgerung aus diesen Verhältnissen wären folgende: Der linguale Klammerarm braucht nicht so tief zu liegen, dagegen muß auf jeden Fall der bukale Klammerarm unter Druck anliegen, weil er sonst nicht genügend Haltekräfte entwickelt.

Gegen das passive Anliegen der Klammerarme kann aber ein gewichtiger Einwand erhoben werden. Eine solche Klammer kann ihre Aufgabe, das Ersatzstück in Kontakt mit der Schleimhaut zu erhalten, gar nicht erfüllen. Sie tritt vielmehr als Halteelement erst in Tätigkeit, wenn sie sich aus ihrer Ausgangslage unter Aufweitung entfernt hat. Dies ist erst möglich, wenn die Sattelteile der Prothese ihre Berührung mit der Schleimhaut verloren haben. Um eine einwandfreie Befestigung der Prothese zu sichern, ist man also darauf angewiesen, die Klammerarme unter Druck den umklammerten Zähnen anliegen zu lassen.

Man muß sich nun die Frage vorlegen, was für eine Wirkung haben diese in der Klammer enthaltenen Kräfte auf den Organismus, also die Zähne und den Kiefer. Denke man zunächst an die Folgen, die von den horizontalen Kräften der Klammer direkt auf die Krone der Zähne ausgelöst werden. Der Druck der Klammer auf die Hartsubstanz der Zähne dürfte, da er noch nicht einmal empfunden wird, keinen direkten Einfluß auf dieselben besitzen. Schäden an den Kronen können nur dann entstehen, wenn die Klammerarme scheuern können. Dieser Umstand wird aber gerade dadurch verhindert, daß die Klammern mit Druck den Pfeilern des Restgebisses anliegen und durch die Zugkraft nicht bewegt werden können.

Als zweite Frage wäre zu beantworten, welche Bedeutung haben die horizontalen Kräfte auf das Zahnbett.

Schwarz fordert in seinem Aufsatz „Die Gewebsveränderungen bei orthodontischen Maßnahmen", daß die in der Orthondie verwendeten Kräfte nicht größer sein dürfen als der Kapillar-Blutdruck, der beim Menschen etwa 20—26 Gramm pro Kubikzentimeter beträgt. Zieht man nun einen Vergleich mit unseren Versuchsergebnissen, so muß man sich fragen, welche verheerenden Folgen die nach Hunderten von Gramm gemessenen horizontalen Kräfte einer Klammer nach sich ziehen? Wohl werden die ermittelten Werte nicht voll und ganz zur Auswirkung kommen, da sich die Kräfte des inneren und äußeren Klammerarmes größtenteils aufheben. Sie können sich nur dann ungünstig für das Paradentium auswirken, wenn eine Resultante übrig bleibt. Da man aber gezwungen ist, eine Klammer unterhalb des horizontalen Aequators zu legen, wie es die Versuchsergebnisse gezeigt haben, bleibt eine vertikale Resultante nach der Kaufläche hin übrig. Letztere versucht also, den Zahn aus der Alveole herauszuheben. Um nun diese Kraft aufzuheben, muß ihr ein Widerstand entgegengesetzt werden. Diesen erzielt man durch zweckmäßig angelegte Auflagen. Eine horizon-

tale, nach dem Klammerkörper hin gerichtete Resultante bleibt auch dann übrig, wenn die Klammerarme über den senkrechten Aequator hinaus den Zahn umgreifend einen Druck ausüben. Dieser Restkraft kann nur dadurch begegnet werden, daß ihr auf der Seite des Klammerkörpers ein Widerstand entgegengesetzt wird. Am einfachsten erreicht man dies Ergebnis dadurch, daß man (wie bei Klammerform b) die Klammerarme vom Klammerkörper aus zuerst ziemlich senkrecht nach dem Zahnhals zu herabführt, so daß mindestens 4 oder mehr Punkte der Klammer den Zahn berühren.

Zusammenfassung.

1. Die normalerweise von einer Klammer auszuhaltenden direkten Zugbeanspruchungen betragen im Höchstfall 300 Gramm.

2. Um diesen Beanspruchungen Widerstand zu leisten, muß die Klammer in den üblichen Dimensionen und Materialien so angefertigt sein, daß sie beim Aufsetzen und Abziehen sich um mindestens 0,5 mm an den Klammerwänden aufweitet.

3. Indirekten Zugbeanspruchungen leistet eine Klammer Widerstand:
   a) am stärksten, wenn der die Kraft übertragende Hebelarm senkrecht zur Verbindungslinie Klammerkörper — Klammeröffnung liegt,
   b) geringer, wenn die Zugbeanspruchung an einem Hebel auf der Seite der Klammeröffnung erfolgt,
   c) am geringsten, wenn der Zug an einem Hebel auf der Seite des Klammerkörpers ausgeübt wird.

4. Die von den Klammerarmen ausgeübten horizontalen Druckkräfte sind bei der üblichen Herstellung von Klammern sehr verschieden und schwanken zwischen 100 und 850 Gramm bei einer Aufweitung von 0,1—0,9 mm des einzelnen Klammerarmes.

5. Natürliche Zähne verlangen im Höchstfall eine Ausweitung von 0,8 mm durch untersichgehende Stellen.

6. Selbst bei Ausnutzung der untersichgehenden Flächen müssen die Klammerarme dem Zahn unter Druck anliegen, wenn der Reibungsschaden vermieden werden soll.

7. Durch geeignete Formgebung der Klammer muß erreicht werden, daß die Klammerkräfte sich gegenseitig aufheben und keine Wirkung auf die Wurzelhaut übrig bleibt.

Literaturverzeichnis.

Bätz, E.: Klammerprüfung in Abhängigkeit von Form und Dimension. Diss. Frankfurt Juli 1930.

Fritsch: Ein Beitrag zur Klammerfrage. Zahnärztliche Rundschau 1928, Heft 18.

Groß u. Nowack: Ueber Klammerprüfemethoden. D. z. W. 1930, Heft 13.

Lewald: Neue Klammermethoden. Zahnärztliche Rundschau 1931, Heft 41/42.

Nowack: Klammergoldlegierungen. Vierteljahresschrift f. Zahnh. 1931, Heft 4.

Nowack u. Leuser: Mechanische Eigenschaften von vergübtb. Goldlegier. und ihre Anwendung i. d. zahnärztl. Prothetik. Vierteljahresschrift f. Zahnh. 1931, Sonderheft Loos.

Dieselben: Klammerprüfemethoden. Jahrbuch 1931 f. zahntechn. Laboratorien.

Terjung, K.: Untersuchungen der mech. Eigenschaften einer Reihe von Klammergoldlegierungen. Diss. Göttingen Sommer 1930.

Schwarz: Gewebsveränderungen bei orthodontischen Maßnahmen. Fortschritte d. Orthodontik, Jahrg. 1 H. 3 u. 4, Jahrg. 2 H. 1 u. 2.

Nowack: Die mechanischen Kräfte der Fingerfederchen. Fortschritte d. Otrhodontik, Jahrg. 1 H. 1.

Heussel, H.: Vergleichende Untersuchungen über die elastischen Eigenschaften von Stahl- und Goldklammern. Diss. Frankfurt 1933.

Fessel, K.: Ueber Belastungsfragen der Ankerzähne durch verschiedene Gold- und Stahlklammern. Diss. Hamburg 1932.

Meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. Fritsch, möchte ich an dieser Stelle meinen herzlichen Dank aussprechen für das mir erwiesene Wohlwollen und für seine liebenswürdige Unterstützung.

Ganz besonderen Dank bin ich auch Herrn Dr. Thielemann aus Kassel für die liebenswürdige Unterstützung durch Rat und Tat und für das große Interesse, das er vorliegender Arbeit gegenüber zeigte, schuldig.

Auch der Deutschen Gold- und Silberscheideanstalt, Zweigniederlassung Pforzheim, möchte ich an dieser Stelle recht herzlich danken für die leihweise Ueberlassung der Versuchsmaterialien.

Lebenslauf.

Am 24. Mai 1905 wurde ich, Walter Spieß, zu Rainrod, Kreis Schotten, geboren. Von Ostern 1911 ab besuchte ich die Volksschule zu Rainrod. Als mein Vater 1913 nach Mörfelden, Kreis Groß-Gerau, versetzt wurde, besuchte ich die dortige Volksschule, bis ich 1916 die Realschule Groß-Gerau bezog. Ostern 1921 verließ ich aus gesundheitlichen Gründen diese Schule und kam in die Lehre zur zahntechnischen Ausbildung. Nach dreijähriger Lehrzeit legte ich meine Gehilfenprüfung ab. Ich war dann mehrere Jahre als technischer Assistent tätig, bis ich mich entschloß, meine Ausbildung durch das Universitätsstudium zu vervollkommnen. Im Herbst 1929 legte ich die Prüfung der Hochschulreife an der Oberrealschule zu Friedberg ab und bezog dann die Johann-Wolfgang-Goethe-Universität in Frankfurt a. M.

Am 30. Juli 1931 bestand ich die zahnärztliche Vorprüfung und legte nach insgesamt 7 Semestern im Sommer 1933 das zahnärztliche Staatsexamen ab.